

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Esa Tomperi

AUTOMAATTISEN REI'ITYSMENETELMÄN SUUNNITTELU OSAKSI
TUOTANTOKETJUA

Opinnäytetyö
toukokuu 2013



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2013
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800 p. (013) 260 6906

Tekijä

Esa Tomperi

Nimeke

Automaattisen rei'itysmenetelmän suunnittelu osaksi tuotantoketjua

Toimeksiantaja

Polar Shiitake Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa erilaisia mahdollisia vaihtoehtoja ja suunnitella uusi automatisoitu rei'itysmenetelmä siitakesienien kasvatusalustojen pakkausmuoveille. Muutos koettiin tarpeelliseksi, sillä nykyinen menetelmä on selvä pullonkaula tuotantoketjussa. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada valittua kolmesta tutkitusta menetelmästä tarkoitukseen sopivin. Tutkitut menetelmät olivat laser, vesileikkaus ja mekaaninen rei'itys.

Aluksi työssä käydään läpi nykyinen tuotantoketju yksityiskohtaisesti. Tämä on tarpeellista, koska kyseessä on uniikki tuotantoketju. Tämän jälkeen työssä tarkastellaan valittujen menetelmien teoriaa sekä niiden hyviä ja huonoja puolia. Lisäksi työssä tutkitaan, mihin vaiheeseen tuotantoketjua automatisointi voitaisiin sijoittaa. Samalla myös kasvatusalustojen pakkausmekaniikkaa on pyritty kehittämään.

Tästä opinnäytetyöstä käy ilmi kuinka automatisointia olisi mahdollisesti järkevintä lähteä toteuttamaan ja mitä siinä on otettava huomioon. Valitsin kolmesta tutkitusta menetelmästä laserin muita lähempään tarkasteluun, koska sillä oli selviä etuja kahteen muuhun menetelmään verrattuna. Tämän työn yhteydessä käytännön muutoksia ei vielä tehty tuotantolinjastoon.

Kieli
suomi

Sivuja 24
Liitteet 2

Asiasanat

kasvatusalusta, rei'itys, muovikalvo



THESIS
April 2013
Degree Programme in Mechanical and
Production Engineering
Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6800

Author(s)

Esa Tomperi

Title

Designing of Automatic Perforation Method into Production Chain

Commissioned by
Polar Shiitake Oy

Abstract

The goal of this thesis was to study a range of possible options and to design automated perforation method for plastic film that covers shiitake mushroom substrate. The change was considered necessary because the current method was an obvious bottleneck in the production chain. The aim of this thesis was to choose the most suitable method from three different but considerable solutions.

First, the current production chain was reviewed in detail. This was necessary because the production chain is unique. After this, the theory, as well as the pros and cons of the chosen methods were studied. The thesis also examined the stage on which automation could be placed in the production chain. New packaging methods were also surveyed.

This thesis explains the most sensible automation method and arising matters which must be taken into account. During this thesis practical changes were not made to the production line.

Language
Finnish

Pages 24
Appendices 2

Keywords

substrate, perforation, plastic film

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto	5
2 Yritysesittely	5
3 Siitakesieni	6
4 Tuotantoketju Polar Shiitake Oy:ssä	7
4.1 Kasvatusalustojen valmistus	9
4.2 Idätys, rei'itys ja kasvattaminen	12
5 Uusien rei'itysmenetelminen kartoittaminen	13
5.1 Laser	14
5.1.1 Muovien leikkaaminen laserilla	16
5.2 Vesileikkaus	17
5.3 Mekaaninen rei'ittäminen	18
5.4 Yhteenveto ja sopivimman menetelmän valinta	18
6. Rei'itysvaihe ja pakkaaminen	19
6.1 Linjaston alussa rei'ittäminen	19
6.2 Liukuhihnalla tai laatikossa rei'ittäminen	21
7. Pohdintaa	22
Lähteet	24

Liitteet

Liite 1	Piirustus Coherentin Diamond C-70A ilmajäähdytteisestä laserista
Liite 2	Hahmotelma liukuhinnan päähän tulevasta nostomekanismista

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Polar Shiitake Oy. Työn aihe oli tarjolla Karelia-ammattikorkeakoulun yhteydessä toimivassa projektihautomossa. Työn tarkoituksena oli alunperin kasvatusalustan rei'ityskoneen suunnittelu ja prototyypin testaus. Käytännön syistä tämän opinnäytetyön aihe rajattiin erilaisten toteutettavissa olevien mahdollisuuksien kartoittamiseen, joten prototyyppiä ei ole valmistettu.

Syynä muutokselle on nykyisen rei'itysmenetelmän hitaus ja muutenkin alkeellinen menetelmä. Yrityksen tavoitteena on saada kasvatettua tuotantomääriä sekä pyrkiä lyhyempään kokonaistuotantoaikaan. Ensimmäisenä askeleena rei'itysmenetelmä olisi tarkoituksena saada täysin automaattiseksi kasvatusalustojen tuotantolinjan yhteyteen. Rei'ityksen automatisoinnin yhteydessä myös laatikointimenetelmää on muutettava, jota myös tässä työssä käsitellään.

Aluksi opinnäytetyössä käydään läpi nykyinen tuotantoketju, joka onkin ainoa Suomessa. Tämän jälkeen käydään läpi uusia mahdollisia menetelmiä sekä pohditaan laatikointia sekä järkevintä vaihetta rei'ityksen toteuttamiseen. Työhön on valittu tarkasteltavaksi kolme eri menetelmää: laser, vesileikkaus ja mekaaninen rei'itys. Olen punninnut näiden kolmen hyviä ja huonoja puolia ja valinnut siltä pohjalta laserin tarkempaan käsittelyyn.

2 Yritysesittely

Polar Shiitake Oy on luomusiitakesieniä viljelevä yritys Rääkkylän kunnassa Pohjois-Karjalassa. Alkuperäinen yritys, Itä-Suomen Siitake Oy aloitti toimintansa vuonna 1984, ja tältä pohjalta perustettiin vuonna 1999 Polar Shiitake Oy. Vuonna 2007 kasvualustoja valmistava Polar Log Oy ja Polar Shiitake Oy yhdistyivät, ja näin syntyi nykyinen yritys. Yritykset ovat toimineet aina samoissa rakennuksissa, joten yhdistyminen oli helppoa ja luontevaa. Yritys on ainoa laatuaan Suomessa ja siksi onkin haastavaa olla uranaukaisijana. Polar Shiitakeella on Euroopan suurin tuotantokoneisto

alallaan sekä oma tutkimuslaboratorio. Yrityksen käyttämä siitakkeen kasvualustan versio on 80-luvulla suomalaisten tutkijoiden kehittämä.

Polar Shiitakkeen toiminta on hyvin ympäristön huomioonottavaa luomutuotantoa. Esimerkiksi yrityksen käyttämä sähkö on Pohjois-Karjalan Sähkö Oy:n Yritysvihreä-sähköä, joka tuotetaan pääasiassa puulla ja tuulella. Kaikki tuotantoon vaadittavat raaka-aineet hankitaan mahdollisimman läheltä. Yritys työllistää kasvukauden ajankohdan mukaan 10 - 15 ihmistä, mikä on huomattavan suuri määrä yksityiselle yritykselle Rääkkylän kokoisessa kunnassa. Suurin osa tuotannosta menee Keski-Eurooppaan, jossa siitaketta arvostetaan huomattavasti Suomea enemmän puhtauden ja ruuanlaitto-ominaisuuksien ansiosta. Suomessakin terveellisen siitakkeen kysyntä on ollut hieman nousemaan päin. (Polar Shiitake Oy 2012.)

3 Siitakesieni

Siitakesieni on alunperin Itä-Aasiasta lähtöisin oleva ruokasieni ja sitä käytetään ruuanlaitossa monissa Aasian maissa, kuten Japanissa, Kiinassa ja Thaimaassa. Laji kasvaa luonnonvaraisena ainoastaan Kiinassa. Japanissa sitä on viljelty jopa yli 1000 vuoden ajan. Siitake on maailman toiseksi viljeltyin sieni herkkusienien jälkeen. Sen vuosituotanto on 700 000 tonnia, josta yli 50 % tuotetaan Japanissa. (Kemppainen 2001, 9.) Suomessa siitaketta kasvatetaan alustoissa, jotka on valmistettu lehtipuunpurusta, lähinnä lepästä, sekä viljasta. Kasvualustoja löytyy yleensä suurempien markettien valikoimista ja näin siitakesientä voi kasvattaa kuka tahansa kotonaan. Kasvatus onkin melko yksinkertaista, sillä riittävä valo ja kosteus riittävät sienien kasvamiseen. Yhdestä kasvualustasta saadaan noin 250 gramman verran sieniä. Sienet ovat tyypillisesti noin 5 cm korkeita ja hatun leveys on myös samaa luokkaa. Kuvassa 1 suuremmat sienet ovat edellä mainittua kokoluokkaa. Suomalaisittain siitaketta voidaan verrata lähinnä kantarelliin ja suppilovahveroon. Sienet ovat värykseltään tumman tai vaalean ruskeita ja lakissa voi olla valkoisia pilkkuja. (Kalaruokaverkko 2012.)



Kuva 1. Siitakesieniä poimintavalmiina kasvatusalustassa. (Kalaruokaverkko 2012.)

Siitakesienellä on monia terveellisiä ja positiivisia ominaisuuksia:

- paljon proteiinia, käy lihan korvikkeeksi
- hyvin vähän hiilihydraatteja ja rasvaa ei käytännössä ollenkaan
- monia eri vitamiineja
- paljon kuitua
- jotkin siitakkeen ainesosat toimivat lääkkeinä allergioihin ja viruksiin.

Käytännössä ainoa todettu haittapuoli siitakkeella voi olla siitakedermatiitti, joka muistuttaa nokkosrokkoa. Tämä voi ilmentyä useinkin päivän jälkeen sienien syömisestä ja vaatii pahimmillaan sairaalahoitoa. Siitakedermatiittiä tosin voi esiintyä vain, jos siitaketta nautitaan raakana, joten kypsäntäminen on syytä tehdä huolella. (Pohjola 2013.)

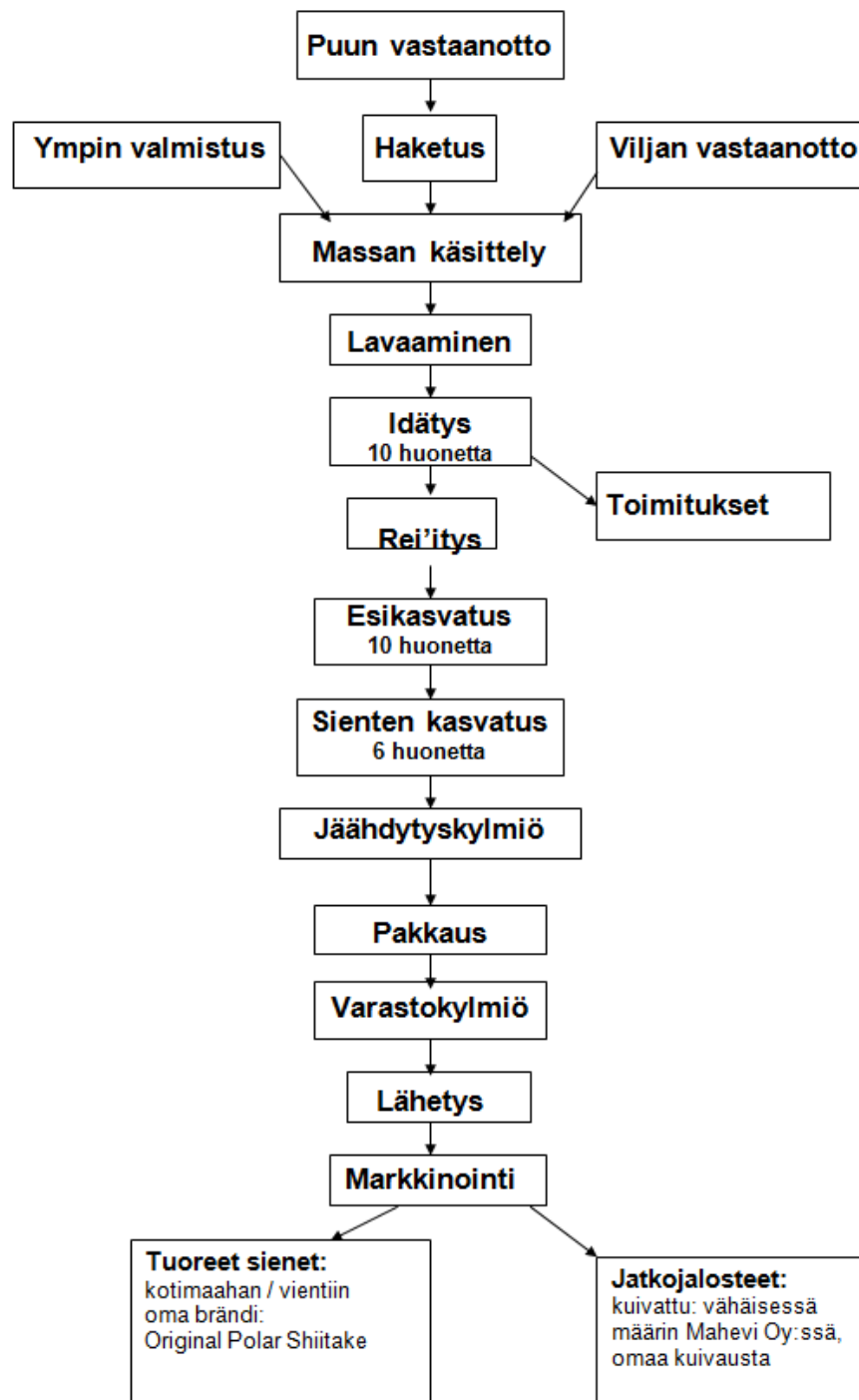
4 Tuotantoketju Polar Shiitake Oy:ssä

Koko tuotantoketju on ajallisesti melko pitkä, ja kasvatusalustan pakkaamisesta valmiiden sienien keräämiseen meneekin aikaa reilusti yli puoli vuotta.

Tuotantoketjussa on tällä hetkellä olemassa 6 eri päävaihetta:

- kasvatusalustan sekoitus ja pakkaaminen muoviin
- idätys (4 vk)
- kasvualustojen rei'itys
- esikasvatus (6 kk)
- muovien poistaminen ja sienien kasvatus (3 vk)
- sadon poiminta, pakkaaminen ja lähettäminen asiakkaille.

Kuvassa 2 tuotantoketju on esitetty yksityiskohtaisemmin. Kuvassa ketjun alussa näkyvä ”ympin valmistus” tarkoittaa alkukasvuston valmistamista, joka lisääntyy uudessa ympäristössä. Tässä tapauksessa on kyse kasvatusalustaan lisättävästä sienirihmaston alusta. Tavoitteena olisi pyrkiä mahdollisimman lyhyeen kokonaistuotantoaikaan ja hyvään kustannustehokkuuteen. Yrityksen seuraava kehittämiskohde on rei’itystekniikan parantamisessa, jota tässä työssä pyritään tutkimaan.



Kuva 2. Polar Shiitake Oy:n tuotantoketju (Polar Shiitake Oy).

4.1 Kasvatusalustojen valmistus

Ensimmäisessä vaiheessa leppäpuru ja luomuvilja, joka on vehnän puinti- ja kuivausjätettä, tuodaan sekoitinkoneelle linjastoa pitkin, mikä näkyy kuvan 3 vasemmassa yläreunassa. Ainekset sekoitetaan siten, että seoksesta noin 75 % on leppää ja 25 % viljaa. Kone annostelee seosta noin 1 kg verran kerrallaan, minkä kone automaattisesti käärii 0,03 mm paksuun polyeteenimuoviin (PE-muovi) ja liimaa muovin kiinni. Muovi tulee suurelta kerältä niin ikään automaattisella syötöllä. Tuloksena syntyy n. 38 cm pitkä ja halkaisijaltaan n. 90 mm oleva ”pötkö”, joka siirtyy putkea pitkin liukuhihnalle. Putki on haitarimallinen kuvan 3 oikeassa alareunassa. Kasvatusalustat kulkevat hihnalla muovin saumapuoli ylöspäin. Sekoitin tekee kasvualustoja kahdelle linjalle yhtäaikaan ja tuotantovauhti onkin nopea, sillä yhden kasvualustan valmistukseen menee aikaa 5 - 6 sekuntia. Kasvualustoja tuotetaan päivittäin noin 6000 kpl.



Kuva 3. Polar Shiitake Oy:n toimitusjohtaja Markku Leppänen esittelemässä sekoitinkonetta. (Kuva: Esa Tomperi.)

Liukuihna, jolle valmiit kasvualustat tulevat, on pituudeltaan noin 3 metriä ja se on jaettu kahteen osaan. Hihnan alussa oleva lyhyempi osa on noin 50 cm pitkä ja toinen osa loput. Lyhyemmän osan tarkoituksena on edistää puhtautta siten, että ylimääräiset purut ja muut mahdolliset roskat tippuvat lyhyemmän ja pidemmän hihnan väliin. Liukuihnan osien välissä on noin 10 mm rako, josta roskat pääsevät tippumaan pois. Liukuihnoja on siis kaksi, joista toinen on metrin lyhyempi. Tällä säästetään tilaa, jota tarvitaan loppupään pakkausautomaatiikalle. Liukuihnat sekä pakkausmekaniikka näkyvät kuvassa 4.



Kuva 4. Liukuihnat sekä loppupään pakkausautomaatiikka. (Kuva: Esa Tomperi.)

Liukuihnan päässä kasvualusta pudotetaan laatikkoon. Pakkausmekanismi on hyvin yksinkertainen. Kasvualusta pudotetaan teräksestä taivutetun lattaraudan avulla alla olevaan laatikkoon. Hihnalla on anturi, joka ilmoittaa milloin kasvualusta on oikeassa kohdassa pudotettavaksi. Tässä on kuitenkin huonona puolena se, että kasvualustat voivat pudota laatikkoon käytännössä miten päin tahansa. Tavoite olisi, että alustat putoaisivat laatikoihin aina muovin saumapuoli alaspäin. Tämä helpottaisi rei'ityksen tekoa ainakin nykyisellä systeemillä. Yhteen laatikkoon, joka on kooltaan 40 x 60 cm menee 7 kasvatusalustaa. Laatikko liikkuu hiljalleen kuvan 4 oikeassa alareunassa

näkyvällä lyhyemmällä liukuhihnalla, jotta kasvatusalustat osuvat omiin uriinsa laatikoissa. Laatikko on aina oikeassa kohdassa valokennojen avulla.

Robotti siirtää pinosta tyhjiä laatikoita molempien liukuhihnojen päihin tarpeen mukaan. Sama robotti myös siirtää pakatut laatikot omaan pinoonsa lavalle. Tässä on myös pieni ongelmakohta, sillä robotti ei välttämättä ehdi jokaiseen paikkaan ja linjasto joutuu seisomaan pysähdyksissä sen ajan. Yrityksessä on käytössä kuvassa 5 näkyvä Motomanin robotti, jonka kantokyky on 100 kg, mikä riittää helposti tähän tapaukseen. Valmis lava siirretään pumppukärryllä seuraavaan vaiheeseen eli idätykseen.



Kuva 5. Käytössä oleva Motomanin robotti. Pinossa pakattuja laatikoita. (Kuva: Esa Tomperi.)

Kasvualustojen valmistus tapahtuu huoneessa, jossa on erittäin puhdas ilma jota koko ajan myös mekaanisesti puhdistetaan. Kasvualustat ovat herkkiä erilaisille bakteereille ja muille epäpuhtauksille etenkin ketjun alkuvaiheessa, jossa sienirihmasto ei ole vielä kehittynyt. Muutenkin puhtaus on tärkeä tekijä koko kasvatuksen aikana.

4.2 Idätys, rei'itys ja kasvattaminen

Lavoille laatikoidut kasvusalustat viedään itämään 4 viikon ajaksi. Idätykseen on käytössä 10 erillistä huonetta. Idätyshuoneiden ilmankosteus on erittäin korkea, koko ajan yli 90 %. Näin itäminen on huomattavasti tehokkaampaa kuin esim. normaalissa huoneilmassa. Polar Shiitake toimittaa myös tästä vaiheesta viljelijöille kasvualustoja idätettyinä ilman rei'itystä. Tulevaisuudessa olisi tavoitteena pyrkiä lyhempään, noin 2 - 3 viikon itämisaikaan.

Idätysvaiheen jälkeen jokainen kasvualusta täytyy rei'ittää. Tämä tapahtuu tällä hetkellä manuaalisesti rullattavalla työkalulla. Reikien halkaisijassa olisi tavoitteena pyrkiä mikrometrien kokoluokkaan, jotta bakteerit eivätkä muutkaan haittaeliöt pääsisi muovien sisään. Jos kasvatusalustaan pääsee esim. homea aiheuttavia bakteereja ennen kuin rihmasto on kunnolla kasvanut, niin todennäköisesti home ottaa vallan kasvualustasta, jolloin se on käyttökelvoton. Tavoite rei'ille olisi Ø 0,03 mm, joka on manuaalisesti käytännössä mahdotonta toteuttaa. Reiät tehdään kasvatusalustan muoviin kuuteen riviin, jotka ovat noin 10 mm:n välein vierekkäin. Nämä rivit vedetään koko kasvatusalustan pituudelta muoviin.



Kuva 6. Nykyinen rei'itystyökalu. (Kuva: Esa Tomperi.)

Nykyinen rei'itystyökalu on kuvassa 6 näkyvä rullattava työkalu, jolla ei päästä lähellekkään tavoiteltua reiän halkaisijaa. Työkalun terät kuluvat melko nopeasti ja tylsillä terillä muovi ei lävisty, vaan se painuu kasaan ja siitä on hankala erottaa onko muovissa reikää vai ei. Työkalu myös teroitetaan manuaalisesti. Rei'itystä hoitaa yleensä vain yksi henkilö, joka myös samalla tarkastaa idätyksestä tulleiden kasvatusalustojen kunnon. Tässä vaiheessa homeiset yms. alustat poistetaan tuotantoketjusta. Tämänhetkisessä tuotantolinjassa suurin pullonkaula onkin juuri rei'itys, jota tässä työssä pyritään kehittämään.

Rei'ityksen jälkeen kasvualustat siirretään esikasvatusvaiheeseen. Tämä on koko tuotannon pisin vaihe ja kestää 6 kk. Esikasvatukseen on käytössä 10 huonetta. Huoneissa tietokoneet valvovat ilmaa ja pitävät kosteuden ja lämpötilan sopivana kasvamiselle. Tavoitekosteus kasvualustalle on 60–70 %. Esikasvatusvaiheessa on koko ajan useita kymmeniä tuhansia kasvualustoja.

Esikasvatuksen jälkeen muovit otetaan pois kasvualustojen ympäriltä ja ne laitetaan sienien kasvatusvaiheeseen. Tämä vaihe kestää kolme viikkoa. Kasvatukseen on käytössä kuusi huonetta. Kasvamisen jälkeen valmiit sienet keräillään alustoilta ja jäähdytetään kylmiössä. Sienien kerääminen tapahtuu manuaalisesti, eli valmiit sienet napsitaan veitsellä irti alustasta. Tämä vaihe työllistää eniten ihmisiä. Jäähdytetyt sienet pakataan myyntipakkauksiin ja nämä viedään viileään varastotilaan säilymään. Kasvatusprosessin päätteeksi käytetyt kasvualustat kompostoidaan, joten koko ketjun aikana ainoat syntyvät jätteet ovat pakkausmuovit.

5 Uusien rei'itysmenetelminen kartoittaminen

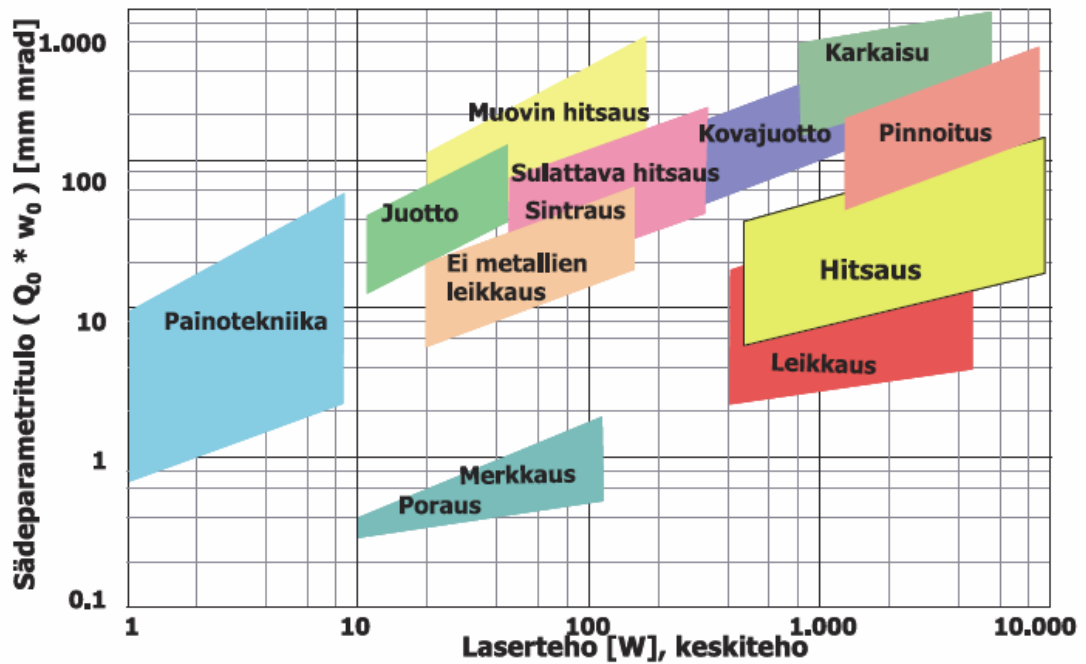
Suurin pullonkaula tuotantoketjussa on siis kasvualustojen muovien rei'itys, joka tulisi saada automatisoitua. Tavoite reiän halkaisijalle on 0,03 mm eli 30 µm. Muovi on väriltään kirkasta ja materiaaliltaan PE-muovia (polyeteeni), jonka paksuus on 0,03 mm. PE-muovi ei itsessään ole kovinkaan kallista, mutta tähän tarkoitukseen muovirullat täytyy tilata mittatilaustyönä, joka nostaa hintaa huomattavasti. Muovia olisi mahdollista saada joiltakin toimittajilta myös valmiiksi rei'itettynä, mutta tämä taas nostaa hintaa. Pidemmällä tähtäimellä on siis järkevintä tehdä reiät itse, vaikkakin

aluksi tuleekin mahdollisesti suurehkoja investointeja. Päädyimme tarkastelemaan rei'itysmenetelmiksi laseria, vesileikkausta sekä mekaanista menetelmää. Tekomenetelmän lisäksi on pohdittava, missä vaiheessa tuotantoketjua reiät olisi järkevintä tehdä. Mitä aikaisemmassa vaiheessa ketjua reiät tehdään niin sitä herkempiä kasvualustat ovat bakteereille ja muille haitoille. Bakteerien kokoluokka vaihtelee puolesta mikrometristä useihin satoihin mikrometreihin, joten hyvin pieni 30 µm reiän kokokaan ei välttämättä estä kaikkien bakteerien pääsyä kasvualustaan.

5.1 Laser rei'itysmenetelmänä

Laserin käyttömahdollisuudet nykypäivänä ovat hyvin laajat. Laserilla voidaan leikata, höyrystää, sulattaa, hitsata, porata ja juottaa erilaisia materiaaleja. Tekniikka on melko uusi, sillä se vakiinnutti asemansa teollisuudessa 80-luvun lopulla. Sieltä lähtien laserteknologia on kehittynyt nopeasti, ja uusia sovellutuksia keksitään koko ajan lisää. Laserin kehitysvauhtia on verrattu tietotekniikan kehitysvauhtiin 90-luvun aikana.

Pääosin laserin käyttökohteet ovat konepajateollisuudessa ja nykyään myös elektroniikkateollisuuden parissa. Kuvassa 7 nähdään kuinka monikäyttöinen menetelmä laser on. Eri sovellukset vaativat eri tehoisia laserin työstösovelluksia, ja tehoasteikko onkin hyvin laaja. Myös laserin aallonpituudella on merkitystä, sillä tietyt prosessit ja materiaalit vaativat tietynlaista aallonpituutta absorptioon saamiseksi hyvälle tasolle. Absorptio tarkoittaa kykyä, kuinka paljon laserin valosta imeytyy materiaaliin, koska osa heijastuu aina pois. Vain absorpoitunutta osaa laserenergiasta voidaan hyödyntää työstämisessä. (Kujanpää, Salminen & Vihinen 2005, 14.)



Kuva 7. Eri lasertyöstöprosessien sijoittuminen teho-säteenlaatu –koordinaatistoon (Kujanpää, Salminen, Vihinen 2005, 14).

Lasertyyppejä on nykymarkkinoilla neljä erilaista. Nämä ovat Nd:YAG-laser (kidelasert), excimerlasert, CO₂-lasert (hiilidioksidi) ja diodilasert. Konepajateollisuudessa yleisin on CO₂-laser, jolla pääasiassa leikataan ja hitsataan metalleja. Nd:YAG-lasert ovat suurimmalta osaltaan pienitehoisia hienotyöstöön ja merkkaukseen soveltuvia. Excimerlaseria käytetään pääasiassa silmien laseroperointiin ja mikrokokoluokan työstämiseen. Diodilasertien suosio on nousussa niiden pienen koon, pienten käyttökustannusten, edullisen hinnan ja helpon huollettavuuden ansioista. Nykyään uusin ja potentiaalisin kehitteillä oleva sovellus lienee kuitulaser, jossa säde synnytetään optisen kuidun sisässä. Lasereitten tehojakauma on käytännössä välillä 1 - 10000 W. (Kujanpää, Salminen, Vihinen 2005, 16).

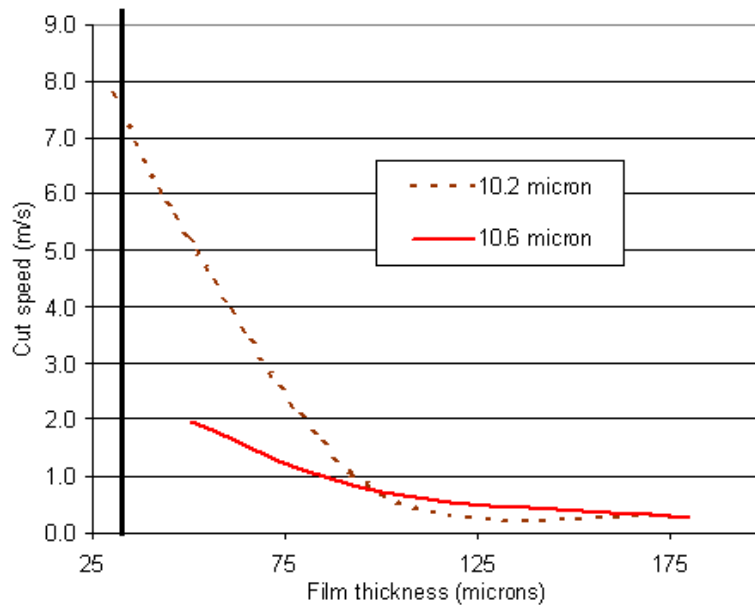
Lasertit ovat periaatteessa optisia vahvistimia ja kaikissa tyypeissä on kolme peruskomponenttia. Ensimmäinen on laseroiva väliaine, johon säde voi syntyä. Väliaine voi olla kaasumaista, nestemäistä tai kiinteää. Toisena peruskomponenttina ovat kaksi peiliä, joiden välissä laserointi tapahtuu. Ainakin toisen peileistä täytyy olla osittain läpäisevä. Kolmantena tarvitaan pumppausenergiaa. Tämä on esim. sähkö- tai valoenergiaa, jolla viritetään laseroivien atomien elektroneja korkeammalle energiatasolle. Alemmalle energiatasolle palattuaan elektronit lähettävät

vakioaallonpituuksista valoa. Laserilla syntyvä valo on yhdensuuntaista, sillä on yksi aallonpituus ja yksittäiset säteet ovat samassa vaiheessa.

5.1.1 Muovien leikkaaminen laserilla

Muovien työstäminen kattaa 10 - 20 % lasertyöstön sovellutuksista. Polymeerien leikkaus on yleensä sulattavaa tai höyrystävää leikkausta tai kemiallisia sidoksia hajottavaa. Höyrystävää leikkausta käytetään akryylin ja polyasetaalien leikkauksessa, joten se ei käy tässä tapauksessa, kun kyseessä on polyeteeni. Yleisin tyyppi muovien leikkauksessa on sulattava leikkaus. Tätä voidaan verrata metallien leikkaukseen eli sula materiaali poistetaan kaasuvirtauksen avulla. Useimmiten leikkauskaasuna käytetään paineilmaa. Leikkausrailon leveys on luokkaa 0,2 - 0,8 mm, joka on isohko tähän tapaukseen, jossa reiän tavoite on 30 µm eli 0,03 mm. Sulattava leikkaus soveltuu monille materiaaleille mm. polypropyleeni (PP), polystyreeni (PS), polyamidi (PA) ja tässä työssä tarkasteltavalle polyeteenille (PE). Kemiallisesti hajottava leikkaus murtaa materiaalin kemiallisia sidoksia ja tuhoaa materiaalin yhtenäisyyden. Tällä saadaan aikaiseksi tarkkaa jälkeä, mutta prosessi on hidas verrattuna sulattavaan ja höyrystävään leikkaukseen. Kemiallisesti hajottavaa leikkausta käytetään kertamuovien, kuten fenoleiden ja epoksien leikkaukseen. (Kujanpää, Salminen, Vihinen 2005, 269–270.)

Suurin osa värjäämättömistä polymeereistä on läpinäkyviä, kuten tässäkin tapauksessa. Läpinäkyvyyden takia absorptio on huono näkyvällä valolla ja sen lähellä olevilla aallonpituuksilla. Tämän vuoksi Nd:YAG-kidelasarit, joiden aallonpituus on lähellä näkyvää valoa, eivät yleensä sovellu muovien leikkaukseen. CO₂- ja excimer-lasereiden aallonpituudet ovat kauempana näkyvästä valosta, joten nämä absorboituvat hyvin useimpiin polymeereihin. Yleisesti polymeerien leikkauksessa käytetäänkin CO₂-laseria, jolloin aallonpituus on yleensä 10,2 µm tai 10,6 µm. Excimer-laseria käytetään tarvittaessa suurta tehotiheyttä ja hyvin tarkkaa muotoa. Tässä tapauksessa järkevin vaihtoehto lienee yleisin vaihtoehto CO₂-laser joka sulattaa polymeeriä. Menetelmän hyviä puolia ovat ainakin suuri nopeus ja varmuus työkalun puhtaudesta. (Kujanpää, Salminen, Vihinen 2005, 269–270.) Kuvasta 8 nähdään, että 10,6 µm aallonpituuden omaavan laserin tarkkuus ei aivan riitä tässä tapauksessa käytettävään 30 µm materiaalivahvuuteen.



Kuva 8. Polypropeenikalvon leikkausnopeuksia eri aallonpituuksilla (Coherent 2013).

5.2 Vesileikkaus

Vesileikkauksen periaatteena on, että korkeapaineinen, jopa 400 MPa vesisuihku irroittaa materiaalia ja samalla huuhtelee sen pois työkappaleelta. Materiaalikirjo, joihin vesileikkausta voidaan käyttää, on todella laaja. Puhdasta vesileikkausta käytetään pehmeämpiin materiaaleihin, kuten paperiin, kumiin, muoviin ja lasikuituun. (Etra Oy 2013). Toisessa menetelmässä käytetään veden lisäksi hiekkaa, jolloin voidaan työstää kovempia materiaaleja, kuten terästä, alumiinia, kiveä ja keraameja (Turun Watercut Oy 2013). Tässä tapauksessa puhdas vesileikkaus on siis tarkasteltava vaihtoehto.

Vesileikkauksella on monia etuja, kuten hyvä pinnanlaatu, vähäinen materiaalihukka ja menetelmän lämmöttömyys, jonka seurauksena ei myöskään synny termisiä muutoksia tai jännityksiä (Etra Oy 2013). Lisäksi vesileikkaus on hyvin ympäristöystävällinen työstömenetelmä. Tässä tapauksessa varsinkin lämmöttömyys on erittäin positiivista, koska liiallinen lämpö voisi vahingoittaa kasvualustaa, mikäli reiät tehtäisiin kasvualustan muovituksen jälkeen. Vesisuihku pitäisi kuitenkin mitoittaa todella tarkasti muovikalvon lävistämiseksi, jottei suihku vahingoittaisi kasvualustaa. Kosteus on luultavasti enemmänkin hyöty kuin haitta, sillä kasvualustat laitetaan kuitenkin itämään erittäin kosteaan tilaan. Suuttimen aiheuttama kastelu työstettävän materiaalin pinnalle on kuitenkin erittäin minimaalista. Tähän tapaukseen vesileikkaus ei kuitenkaan ole

kovinkaan hyvä vaihtoehto, sillä menetelmän tarkkuus ei riitä vaadittuun. Vesileikkaus onkin kannattavimmillaan 8–60 mm materiaalipaksuuksilla (Turun Watercut Oy 2013). Hyvin ohuilla materiaalivahvuuksilla voi esiintyä repeilyä ja halkeilua. Yleensä puhtaitten vesisuihkujen työstöhalkaisija on 0,1–0,4 mm. Parhaimmillaan päästään kuitenkin 0,07 mm halkaisijan tietämille, joka on jo hyvin lähellä tavoiteltua 0,03 mm:a. (Flow International 2013.) Yleensä vesisuihkuleikkaus vaatii melkoisen isot rakennelmat, joten tässä tapauksessa se ei ole mielestäni kovinkaan järkevä vaihtoehto.

5.3 Mekaaninen rei'ittäminen

Mekaaninen rei'ittäminen tarkoittaa sitä, että muovikalvoon lävistetään reikä piikillä. Tehokkainta onkin tehdä ns. piikkimatto, joka voisi tehdä reiät koko kasvualustaan yhdellä painaisulla. Piikin halkaisijan täytyy olla hyvin pieni, käytännössä silmillä havaitsematon, jonka seurauksena materiaalin tulisi olla erittäin lujaa jotteivat piikit katkeaisi. Lisäksi haasteena on kasvualustojen muodon epäsäännöllisyys, jonka takia reikiä ei varmastikaan saataisi tehtyä koko kasvualustan pituudelle. Mikäli sopivat piikit kuitenkin löytyisivät, niiden pitäisi pysyä terävinä. Tylsä piikki ei lävistä muovikalvoa vaan painaa sen ainoastaan kasaan. Erittäin ohuesta piikistä terävyyttä on erittäin hankalaa todeta. Lisäksi mikrometrikokoluokan mekaaniset työkalut alkavat jo olla melkoisen kalliita. Puhtauden kannalta mekaaninen menetelmä on varmastikin heikoin kolmesta verrattuna. Mekaaninen menetelmä on halvin ja helpoin toteuttaa, mutta en lähtisi siihen mahdollisten epäpuhtauksien ja piikkien kulumisen takia.

5.4 Yhteenveto ja sopivimman menetelmän valinta

Kolmesta edellä mainitusta menetelmästä laser on mielestäni pidemmän päälle paras vaihtoehto. Laserissa on toki suurehkot hankintakustannukset, mutta siinä ”työkalu” ei kulu, päästään tarkimpaan jälkeen sekä kasvualusta saadaan pidettyä puhtaampana kuin muilla menetelmillä.

Laservalmistaja Coherentin internetsivuilta löytyi elintarvikemuovien rei'itykseen tarkoitettu laser. Coherent on testannut kahta eri laseria PP-muoviin, jonka tulokset ovat lähes identtiset PE-kalvoon näin ohuessa materiaalissa. Laserit ovat identtiset

aallonpituutta lukuunottamatta, joka muuttuu laserin tehonlähteen muuttuessa. Testatut laserit ovat Coherentin C ja GEM-sarjaa, toinen on C-40 ($\lambda=10,6 \mu\text{m}$) ja toinen C-100 ($\lambda=10,2 \mu\text{m}$). Molemmat säteet ohjattiin $65 \mu\text{m}$ polttovälillä olevan linssin läpi jollion saatiin aikaiseksi $100 \mu\text{m}$ fokuspiste muoviin. Testien perusteella käyttäessä $10,2 \mu\text{m}$ aallonpituutta saatiin aikaiseksi $40 \mu\text{m}$ reikä $30 \mu\text{m}$ kalvoon yhdellä $15 \mu\text{s}$ pulssilla. Tässä käytettiin hyvin alhaista pulssienergiaa, noin $150 \mu\text{J}$. Nämä tulokset ovat hyvin lähellä tässä työssä tavoiteltua, joten Coherentin Diamond GEM 100 W tai 70 W CO_2 lienee paras vaihtoehto, tai ainakin yksi parhaista. Lasereita saa sekä ilma- että nestejäähdytteisinä. Coherent ilmoittaa olevansa ainoa toimittaja, jolta CO_2 -lasereita saa muulla kuin $10,6 \mu\text{m}$ aallonpituudella. Samassa testissä käytetyllä C-40 laserilla ohuin kalvo, mihin saatiin reikä aikaiseksi, oli $60 \mu\text{m}$. (Coherent 2013, Packaging Film Drilling with 10.2- μm Wavelength CO_2 Lasers.)

On syytä ottaa huomioon, että laserin valinta parhaaksi toteutustavaksi on oma henkilökohtainen mielipiteeni, joten muutkaan menetelmät eivät välttämättä ole täysin poissuljettuja vaihtoehtoja. Mielestäni laserin edut muihin menetelmiin verrattuna ovat tässä tapauksessa kuitenkin ylivoimaisia.

6 Rei'itysvaihe ja pakkaaminen

Yksi ongelma on se, missä kohtaa linjastoa reiät kannattaisi tehdä. Näkisin tähän kolme eri vaihtoehtoa. Ensimmäisenä vaihtoehtona on rei'ittää muovi heti sen purkautuessa kelalta ulos. Toinen vaihtoehto on tehdä reiät liukuhihnalla heti kun kasvualusta on muovitettu. Kolmas vaihtoehto toteuttaa rei'itys on siinä vaiheessa, kun kasvualustat ovat jo pudotettu laatikkoon. Pakkauksen ongelmana on tällä hetkellä se, että kasvualustat tiputetaan liukuhihnalta sivulle alhaalla olevaan laatikkoon, jolloin alustat saattavat pyörähtää miten päin tahansa laatikkoon. Laatikko liikkuu pienellä liukuhihnalla samaa tahtia eteenpäin, kun siihen putoaa muovitettu kasvualusta.

6.1 Linjaston alussa rei'ittäminen

Helpointa rei'itys olisi toteuttaa linjaston alkuun, eli reiät tehtäisiin heti muovin purkautuessa rullasta ulos. Tällöin muoviin voitaisiin nakuttaa kuuden reiän riviä

muovin liikkua. Muovin keskelle pitäisi siis tehdä tarvittavat 6 reikärivä noin 10 mm päähän toisistaan. Tässä laserille pitäisi siis ainakin olla olemassa sivuttaisliike, tai säde pitäisi saada jaettua moneen osaan. Oletuksena on se, että muovi kääriytyy aina samalla tavalla kasvualustan ympärille, jolloin reikärivit jäisivät aina samalle kohtaa saumanpuolen vastakkaiselle puolelle. Linjaston alkuun ei tarvitsisi tehdä kovinkaan suuria muutoksia, sillä tähän tapaukseen sopivat laserit ovat kooltaan melko pieniä, noin 50 cm pitkiä, 10 cm korkeita ja 10 cm leveitä. Tässä on kuitenkin huonona puolena se, että muovitetut kasvualustat tulisivat liukuhihnalle reiät alaspäin, jonka seurauksena muovin sisään voisi päästä mahdollisia epäpuhtauksia. Mikäli päästään kuitenkin tavoiteltuun 30 µm reiän halkaisijaan, tämän ei pitäisi olla ongelma. Tavoitteena olisi saada valmiit kasvualustat rei'itetty puoli ylöspäin laatikkoon. Tässä tapauksessa alustat olisivat liukuhihnalla reiät alaspäin ja putoaisivat laatikkoon satunnaisesti.

Mikäli rei'itys tehdään heti linjaston alussa, loppupään pakkausta täytyy siis muuttaa. Tiputtaminen ei käy enää, joten kasvualustat täytyy saada siirrettyä laatikkoon hallitusti. Nykyisellä systeemillä, jossa laatikko on kasvualustoja kuljettavan liukuhihnan alapuolella, tarvittaisiin siirtämiseen pieni robotti. Mahdollisesti yksinkertaisin ja järkevin tapa olisi siirtää laatikoita kuljettava liukuhihna nykyisestä paikastaan kasvualustoja kuljettavan liukuhihnan päähän. Tähän tarvittaisiin lisäksi mekanismi, joka siirtäisi kasvualustan liukuhihnalta laatikkoon samalla kääntäen alustan reikäpuolen ylöspäin. Liukuhihnan ja laatikon väliin laitettaisiin nostomekanismiksi eräänlainen koura, joka ottaisi kasvualustan kiinni liukuhihnalta, nostaisi kasvualustan kouran akselin ympäri ja laskisi alustan laatikkoon. Näin reikäpuoli saataisiin aina ylöspäin laatikkoon. Laatikon siirtyminen voitaisiin toteuttaa samalla tavalla kuin nykyäänkin, eli aina kun kasvualusta tulee laatikkoon, niin se siirtyisi 10 cm eteenpäin. Tämä tapa ei vaatisi myöskään kovin suuria muutoksia pakkausrobotinkaan osalta. Ainoana erona olisi täyden laatikon paikan määrittäminen. Nostomekanismista on hahmoteltu eräs malli liitteessä 2.

Nostomekanismin materiaali voisi olla esim. jotakin kovaa kumia tai muovia. Periaatteessa myös alumiininen tai teräksinen kävisi materiaaliksi, mutta ne vaurioittavat ohutta muovikalvoa todennäköisemmin kuin ensin mainitut. Nostimen puhdistukseen voidaan käyttää vettä. Kouran sivut voisivat olla kuperat, jolloin kasvualusta pysyisi hyvin puristuksessa. Sopivan muotoisilla sivukappaleilla

kasvualustojen muotoa voitaisiin jopa edistää paremmin laatikon uriin sopivaksi. Kuperan osan lisäksi sivukappaleissa voisi olla pienet suorat pätkät, jotka ohjaisivat kasvualustan paremmin paikalleen laatikkoon. Puristusmekanismiin riittää paineilmalla tuotettava puristusvoima.

6.2 Liukuhihnalla tai laatikossa rei'ittäminen

Toinen vaihtoehto reikien tekemiseen on siinä vaiheessa, kun kasvualustat on muovitettuna liukuhihnalla. Ensimmäisenä ongelmana tässä on se, että rei'itettävä puoli on alaspäin, eli kasvualusta täytyisi kääntää ympäri heti alussa. Kääntäminen voitaisiin toteuttaa esim. samalla tavalla kuin aiemmassa tapauksessa, erona se että kääntömekanismi sijoitettaisiin heti alkuun lyhyen ja pitkän liukuhihnan väliin. Tällöin kasvualusta saataisiin oikein päin pidemmälle hihnalle jossa rei'itys voitaisiin toteuttaa. Laserin nopeus riittää tekemään reiät koko kasvualustan pituudelle sen liikkeessa, mutta ongelmana on, että kasvualustat eivät varmasti ole täysin identtisiä eikä rei'itettävä pinta ole tasainen. Lisäksi osa kasvualustoista voi olla hieman tyhjempiä ja osa taas täydempiä. Laseryksikön pään, josta säde tulee ulos, tulisi olla hyvin lähellä leikattavaa pintaa, eikä se onnistu mikäli leikattavien kappaleiden mitat heittelevät. Tasaisen pinnan saamiseksi kasvualustat pitäisi esim. imaista alipaineella jotakin levyä vasten. Kasvualustoissa on yleensä sen verran tyhjää, että todennäköisesti tämä toimisi. Suurempia hankaluuksia tuottaa alipainesysteemin ja laserin saaminen toimimaan yhdessä. Kasvualusta olisi siis imaistava kiinni siitä pinnasta, johon laserilla tehtäisiin reiät. Kombinaatio on todella hankala, jopa mahdoton toteuttaa. Mikäli rei'itys kuitenkin onnistuisi liukuhihnalla, niin pakkaaminen pitäisi uudistaa silti. Tässä tapauksessa kasvualustat olisivat reiät ylöspäin, joten sama kääntämistekniikka ei toimisi kuin alussa. Pakkaamiseen tarvittaisiin joko robotti, tai samanlainen nostomekanismi kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa, joka lisäksi pyörähtäisi oman akselina ympäri kääntäen kasvualustan oikein päin.

Kolmantena vaihtoehtona rei'ittäminen toteutettaisiin vasta siinä vaiheessa, kun kasvualustat on jo laatikoitu. Tässä kasvualustat pitäisi saada laatikkoon myös rei'itettävä puoli ylöspäin ja saumapuoli alaspäin. Tämä voitaisiin toteuttaa ensimmäisen vaihtoehdon pakkaustavalla. Rei'itykseen tarvittaisiin tässä tapauksessa robotti, joka liikuttaisi laseria mukanaan. Ongelmana on taas kasvualustojen muotojen

epämääräisyys, joten robotin ohjelmointi aiheuttaisi ongelmia. Menetelmä voisi toimia, jos robotti osaisi tunnistella missä muovin pinta on. Kuvassa 9 näkyy, kuinka kasvualustat ovat jokainen omassa lokerossaan laatikossa, joten muovipinnan sijainti ei kuitenkaan poikkea hyvin paljoa kappalekohtaisesti. Tällä tavalla pakkausrobotti joutuisi aina odottamaan, että toinen robotti rei'ittäisi koko laatikollisen ennen kuin se voitaisiin pinota.

Kolmesta mainitusta vaihtoehdosta paras sekä yksinkertaisin toteuttaa on ensimmäinen. Muoviin käärittyjen kasvualustojen on huomattavasti hankalampaa toteuttaa kuin kelalta purkautuvan suoran muovikalvon.



Kuva 9. Pakattuja kasvualustoja laatikossaan ennen reikiä. (Kuva: Esa Tomperi.)

7 Pohdintaa

Kun kyseessä on tuotantolinja, jollaista ei löydy keneltäkään muulta valmistajalta, uudet ideat täytyy kehittää itse alusta alkaen. Tämän takia lähdemateriaalin käyttäminen oli tässä työssä osittain suhteellisen hankalaa. Materiaalia löytyi enemmänkin eri rei'itysmenetelmien toimintaperiaatteista ja käyttökohteista. Jo heti työn alkumetreillä asiaa tutkiessani tulin siihen tulokseen, että kolmesta vaihtoehdosta laser olisi järkevin

vaihtoehto. Tämän takia laseria on käsitelty muita menetelmiä tarkemmin. Yritin tavoitella Coherentilta lasereitten hintoja sähköpostilla, mutta vastausta ei koskaan kuulunut. Mitään työssä mainituista menetelmistä ei ole testattu käytännössä, ainakaan vielä tässä vaiheessa.

Ajallisesti automatiikka ei tuotantoketjuun pahemmin vaikuta, sillä esikasvatus kestää puoli vuotta. Automaattiseen rei'itysmenetelmään siirryttäessä kuitenkin saadaan yksi työntekijä vapautettua toisiin tehtäviin. Muutoksen todellista kannattavuudesta on vaikea sanoa arvioita ennen kuin se on saatu käytännössä toimimaan. Mahdolliseksi kompastuskiveksi ilmenee huonolaatuisten kasvualustojen poistaminen ennen esikasvatusta. Nykyisellään tämän hoitaa henkilö joka rei'ittää kasvualustat. Mikäli automatiikasta haluttaisiin saada irti kaikki hyöty, koko alkupään tuotantolinja tulisi suunnitella ja toteuttaa uusiksi, sillä on aina helpompaa rakentaa uutta kuin muokata tai korjata jo olemassa olevaa. Tämä ei ole kuitenkaan järkevää kyseisessä tapauksessa, sillä jo linjaston muokkauksella päästäneen riittävän hyviin tuloksiin.

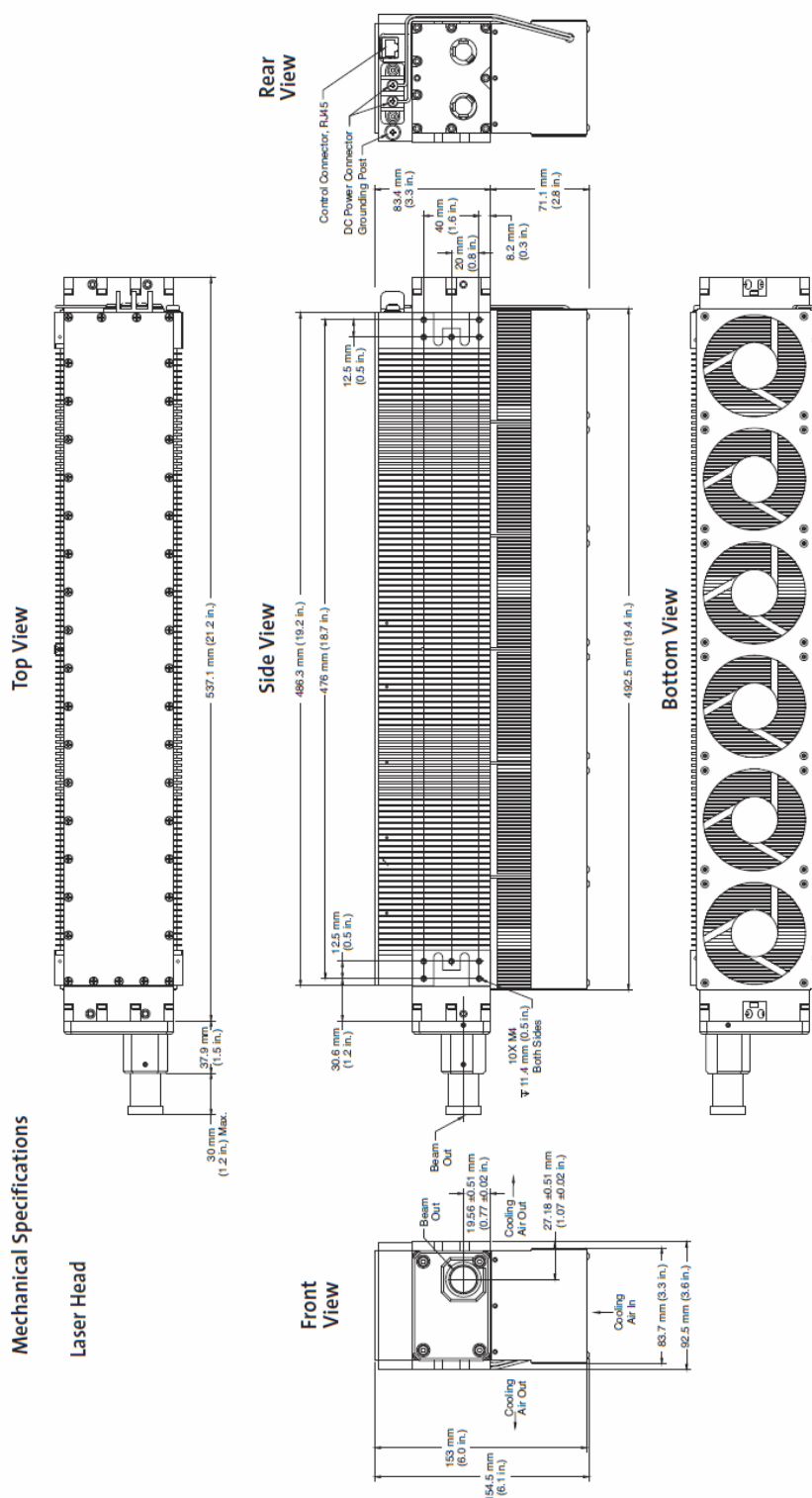
Opinäytetyötä tehdessäni sain huomata, että hieman erikoisemmasta aiheesta voi olla hankalaa löytää sopivaa tietoa. Tämä toisaalta pakotti käyttämään paljon omia ajatuksia ja luomaan omaa tekstiä, joka on tietenkin hyvää harjoitusta. Opin myös sen, että aina työ ei voi edetä suunnitelmien mukaan.. Työ oli kokonaisuudessaan mielenkiintoinen, vaikkakin ideointi tyhjältä tuntui aluksi hankalalta. Opin näytetyöprosessi opetti pitkäjänteiseen työskentelyyn.

Rei'itysmenetelmiä olisi ollut hyvä päästä testaamaan käytännössä, jolloin olisi käytännössä nähty millaiseen nopeuteen ja laatuun niillä päästään. Lisäksi myös voitaisiin tutkia, vaikuttaako automaattiset rei'itysmenetelmät kasvualustaan biologisesti. Sain kuitenkin valittua tarkoitukseen mielestäni järkevimmän toteutuksen, joka työssä oli päätavoitteena. Toivon, että työ antaisi yritykselle ideoita ja rei'itysautomatiikkaa päästäisiin rakentamaan. Toteutus on nyt suunnitteluasteella, joten tästä on hyvä jatkaa käytännön toteutukseen.

Lähteet

- Coherent. 2013. Cutting of Polypropylene Film with Different Wavelengths.
<http://www.coherent.com/Applications/index.cfm?Fuseaction=popups.ChartZoom&AppLevel2ID=38>. 30.1.2013
- Coherent. 2012. Diamond C-70A-esite.
http://www.coherent.com/downloads/Diamond_C70A_DSrevB_0812_3.pdf. 12.2.2013
- Coherent. 2013. GEM-Series and C-Series.
<http://www.coherent.com/products/?699/GEM-Series-and-C-Series>.
 31.1.2013
- Coherent. 2013. Packaging Film Drilling with 10.2-µm Wavelength CO2 Lasers.
<http://www.coherent.com/Applications/index.cfm?fuseaction=Forms.AppLevel2&AppLevel2ID=38>. 31.1.2013
- Etra Oy. 2013. <http://www.etra.fi/palvelut/tuotanto-ja-alihankintatyot/etra-engineering-plastics/leikkaus-sahaus-stanssaus-vesileikkaus/> 6.3.2013
- Flow International. 2013. Pure Waterjet Cutting.
<http://www.flowwaterjet.com/en/waterjet-technology/pure-waterjet.aspx>.
 20.4.2013
- Kalaruokaverkko. 2012. Viljelty sieni.
<http://www.fishfood.fi/index.php?pageid=1192&aid=1428&bid=1535&lang=fi>. 30.5.2012
- Kemppainen, R. 2001. Siitakkeen kannat ja viljelytekniikka.
<http://www.mtt.fi/asarja/pdf/asarja104.pdf>. 30.5.2012
- Kujanpää, Salminen, Vihinen. 2005. Lasertyöstö. Tampere.
- Pohjola, O. 2013. Shiitakedermatiitti. <http://www.funga.fi/teema-aiheet/shiitakedermatiitti/> 22.5.2013
- Polar Shiitake Oy. 2012. http://personal.inet.fi/yritys/polarshiitake/index_FI.htm.
 29.5.2012
- Turun Watercut Oy. 2013. <http://www.watercut.fi/vesileikkaus.html>. 6.3.2013

Piirustus Coherentin Diamond C-70A ilmajäähdytteisestä laserista.



(Piirustus: Coherent 2013.)

